

Aus dem Institut für Leistungsmedizin Berlin

Direktor: Professor Dr. H. Mellerowicz

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN
AM RUDERERGOMETER
ZUR BESTIMMUNG DER OPTIMALEN SCHLAGZAHL

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

an den

Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Detlef Raatz

aus Berlin

1976

Aus dem Institut für Leistungsmedizin Berlin

Direktor: Professor Dr. H. Mellerowicz

Vergleichende Untersuchungen am Ruderergometer
zur Bestimmung der optimalen Schlagzahl.

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Detlef Raatz

aus Berlin

Referent: Professor Dr. H. Stoboy

Korreferent: Professor Dr. H. Mellerowicz



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 23.3.1976

1. Einleitung
2. Untersuchungsgeräte
3. Methodik
 - 3.1. Untersuchungsgut
 - 3.2. Versuchsablauf und Untersuchungsbedingungen
 - 3.3. Kritik der Methodik
 - 3.4. Statistische Methodik
4. Untersuchungsergebnisse
5. Diskussion
6. Zusammenfassung
7. Literaturverzeichnis

1. Einleitung

Das Bestreben in der Sportmedizin, die aktiven Sportler der verschiedenen Disziplinen standardisiert, vergleichbar und reproduzierbar physiologisch zu untersuchen, führte zur Entwicklung inzwischen bewährter Ergometer. Die ersten mechanisch gebremsten Ergometer wurden bereits am Ende des vorigen Jahrhunderts gebaut und zu arbeitsphysiologischen Untersuchungen benutzt. (SPECK 1883, GÄRTNER, FICK 1891). Es handelte sich um Kurbelergometer, die durch verstellbare Schrauben oder Lederriemen gebremst wurden. Ein einfaches Reibungs-Fahrrad-ergometer wurde von HOLZER und KALINKA 1935 konstruiert.

Die Entwicklung elektro-dynamischer Ergometer begann 1903 durch ATWATER und BENEDICT. Sie benutzten ein Fahrrad, dessen Hinterrad das Treibrad eines Dynamos drehte. Das Hinterrad des Fahrrades wurde später durch eine Kupferscheibe ersetzt, die sich zwischen den Polen eines fremderregten Elektromagneten drehte. Damit war die Entwicklung der Wirbelstromergometer eingeleitet, die zu Geräten führte, die als Hand- und Fußkurbelergometer benutzt werden können und deren Meßgenauigkeit sehr groß ist. (nach MELLEROWICZ 12).

Mit dem Drehkurbel- bzw. Tretkurbelergometer und dem Laufbandergometer werden jedoch bewegungsspezifisch nur eine bestimmte Zahl von Sportarten erfaßt.

HOLLMANN und Mitarbeiter (9) konnten signifikante Unterschiede spiroergometrischer Meßgrößen bei vergleichenden Untersuchungen von trainierten Radrennfahrern zu einem Kollektiv von untrainierten Normalpersonen auf dem Fahrrad- und Laufbandergometer feststellen. Aus diesen Ergebnissen kann man folgern, daß nach

Möglichkeit der Sportler auf einem seiner Sportart entsprechenden Ergometer untersucht werden sollte.

Im Rennrudersport ist die Abhängigkeit von äußeren Bedingungen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind, Regen, Strömung usw. besonders groß. Objektivierbare Vergleiche der absoluten Leistungsfähigkeit der Sportler sind bei Ruderern im Training und Wettkampf nicht ohne weiteres möglich. Das hat dazu geführt, daß ein objektiver Leistungsvergleich nur in Testrennen bei gleichen äußeren Bedingungen vorgenommen wird.

Die telemetrischen Untersuchungen BASSANS (2,3,) und WEIDEMANNs et al. (26) bei Rennruderern unter Trainings- und Wettkampfbedingungen ermöglichen zwar eine relative Beurteilung des einzelnen Ruderers, lassen jedoch eine Verlaufskontrolle des Trainingszustandes des Ruderers nur bedingt zu. Vergleiche zu anderen Ruderern in anderen Bootsgattungen und anderen Rennen sind mit dieser Methode wegen der verschiedenen äußeren Bedingungen nicht möglich. H. MELLEROWICZ und T. SCHNEIDER (13) haben in Zusammenarbeit mit der Firma Lauckner Berlin ein Ruderergometer konstruiert. Mit diesem Ruderergometer können objektive und vergleichbare Untersuchungen an Ruderern unabhängig von äußeren Witterungseinflüssen und Störfaktoren durchgeführt werden. In der folgenden Untersuchung galt es festzustellen, ob die Gesetzmäßigkeiten des Drehkurbelergometers bezüglich der optimalen Drehzahl durch vergleichbare physiologische Abhängigkeiten am Ruderergometer durch Bestimmung der optimalen Schlagzahlen bestätigt werden konnten.

2. Untersuchungsgeräte

Das Ruderergometer ist ein Prototyp der Firma Lauckner Berlin. Die Maße für Rollbahn, Stembrett und Innenhebel sind denen eines Rennrunderbootes gleich.

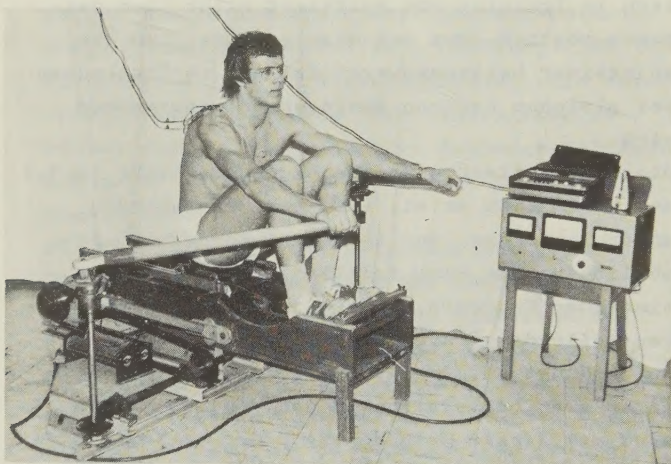


Abbildung 1 Seitenansicht des Ruderergometers. Der Ruderer befindet sich in der Auslage. Die Meßgeräte sind in dem Gehäuse eingebaut.

Das Ruderergometer besteht aus einem stabilen Metallrahmen, auf den Stembrett und Rollbahn mit Rollsitz montiert sind. An Stelle von Rollen finden sich beidseits senkrecht stehende, um die Achse drehende Wellen, die über Kegeltriebe ihre Bewegung an eine Zwischenwelle weitergeben. Diese Zwischenwelle dreht über eine Kette die Achse eines fremderregten Gleichstrom-Nebenschluß-Generators, die einen Freilauf enthält. Auf der anderen Seite der Generatorachse befindet sich eine Schwungmasse,

deren Rotationsenergie der Masse des Bootes und der Mannschaft entspricht. Wegen der geringeren mechanischen Belastung des Gerätes wurde die Skulleinrichtung wie im Renneiner benutzt. Die Meßgeräte sind in einem getrennt aufzustellenden Gehäuse eingebaut. Angezeigt werden:

- 1) Leistung in Watt
- 2) Ruderarbeit mittels Zählwerk in Ws
- 3) mittlere Leistung als Quotient $\frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}$
- 4) Drehzahl als Maß für die Geschwindigkeit



Abbildung 2 Renneiner (Skiff) auf dem Wasser. Der Ruderer hat die gleiche Haltung der Auslage wie auf dem Ruderergometer (vgl. Abbildung 1).

Die Eichung des Gerätes wurde in Zusammenarbeit mit T. SCHNEIDER im Elektrolabor der Techniker Tagesschule Berlin mit Hilfe eines Pendelgenerators vorgenommen.

Die Registrierung des EKG wurde mit einem Ein-

kanal-Gerät der Firma Hellige durchgeführt. Zur Ableitung wurden flache Klebeelektroden mit Kontaktpaste versehen und mit Leukoplaststreifen auf die vorher mit Alkohol gereinigten, entfetteten und getrockneten Hautstellen geklebt. Die das Ankleben der Elektroden störende Behaarung wurde entfernt. Die Verbindung von den Kontaktbuchsen der Klebeelektroden zum EKG-Gerät führte über ein besonders langes Verbindungskabel vom Rücken der Versuchsperson zuerst nach oben, um die Bewegung des Ruderers zu ermöglichen. Der obere Befestigungspunkt des Kabels wurde durch Halbierung der Bewegungsstrecke des Ruderers während des Vorrollens ermittelt. Von dort aus führte das Kabel weiter zum EKG-Gerät.

3. Methodik

3.1. Untersuchungsgut

Es wurden 20 trainierte Rennruderer untersucht. Die Versuchspersonen stammten aus der Trainingsmannschaft des Berliner Ruder-Club. Ihr Monogramm, Alter, Gewicht, Größe, Zahl der Trainingsjahre, Leistungspulssumme des Vortestes und die Leistungspulssumme des Nachtestes auf dem Fahrradergometer (200 W über 6 Minuten) sind in Tabelle 1 eingetragen.

3.2. Versuchsablauf und Untersuchungsbedingungen

Nach einer gründlichen Untersuchung und Erheben der Anamnese hatten die trainierten Rennruderer Gelegenheit, sich mit dem Ruderergometer und dem Versuchsablauf vertraut zu machen. Vor Beginn der Versuchsreihe wurden sie einer Belastung von 200 W über 6 Minuten auf dem mechanisch gebremsten Fahrradergometer (Monark) unterzogen. Anschließend konnte mit Hilfe des kontinuierlich während der Arbeit mitgeschriebenen EKG die Leistungspulssumme bestimmt werden. Dieser Test wurde nach Abschluß der Versuchsreihe wiederholt.

Die Versuchsserie bestand aus 7 Einzelversuchen pro Versuchsperson. Es sollte auf dem Ruderergometer über 6 Minuten bei verschiedener Schlagzahl von 28 bis 40 Schlägen pro Minute die gleiche physikalische Leistung von 250 Watt erbracht werden. An jedem Versuchstag hatte die Versuchsperson eine bestimmte Schlagzahl zu rudern. Die zu rudern den Schlagzahlen waren 28, 30, 32, 34, 36, 38 und 40 pro Minute. Die Versuche fanden einmal wöchentlich in der Zeit von Oktober 1968 bis Mitte Januar 1969 am gleichen Wochentag, zur gleichen Tageszeit und unter gleichen äußeren Bedingungen statt.

Versuchspers.	Monogramm	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Größe (cm)	Trainingszeit (Jahre)	LPS Vortest (Fahrradergometer 200W 6')	LPS Nachtest
1	1	H.R.	30	92	188	671	661
2	2	G.L.	30	82	183	687	688
3	3	A.W.	31	90	194	661	657
4	4	R.M.	28	94	184	762	752
5	5	R.J.	30	80	182	730	739
6	6	W.B.	24	91	183	658	657
7*		B.E.	25	82	188	763	675
8	7	B.H.	28	80	184	733	725
9	8	S.J.	29	89	185	760	765
10	9	R.P.	27	92	186	749	749
11	10	W.W.	21	80	180	734	738
12*		W.B.	20	97	196	722	622
13	11	H.L.	19	85	188	700	695
14	12	S.F.	21	97	184	634	630
15	13	V.W.	30	80	180	720	719
16	14	S.H.	29	86	184	774	784
17	15	W.H.	32	80	184	635	635
18	16	M.D.	28	82	180	714	705
19	17	H.P.	29	81	183	773	773
20*		K.U.	31	83	183	827	756

Erläuterung: Die mit * gekennzeichneten Personen fanden in der Auswertung wegen der

großen Differenz zwischen LPS im Vor- und Nachtest keine Berücksichtigung.

Tabelle 1

Es handelte sich um 20 trainierte Rennruderer des BRC. Neben Monogramm, Alter, Gewicht, Größe, Zahl der Trainingsjahre werden die Leistungspulssummen des Fahrradergometerbestes vor und nach der Versuchsserie angegeben.

Die Versuche wurden in einem beheizten Raum durchgeführt, dessen Temperatur zwischen 20 und 23 Grad C lag. Die Werte für den Feuchtigkeitsgehalt der Luft betrugen 50 bis 60%. Die Luftdruckwerte lagen zwischen 754 und 766 mm Hg. Die Versuchspersonen wurden nach Los in zwei Gruppen eingeteilt. Eine Gruppe führte die Versuche in steigender, die andere Gruppe in fallender Reihenfolge der Schlagzahl durch. Nach F.L. SCHMIDT (23) wurde in der Telemetrie bei der Anordnung der Klebeelektroden nach "CM 5" die größte R-Zacke registriert. In der Versuchsreihe wurde eine der CM 5 ähnliche Anordnung der Klebeelektroden gewählt. Da die Versuchspersonen während der Versuche sehr stark transpirierten, wurde die einzelne Klebeelektrode durch einen Leukoplaststreifen zusätzlich fixiert.

Nachdem der Ruderer auf dem Ruderergometer die für ihn passende Stembretteinstellung vorgenommen hatte, wurden ihm die Brustwandelektroden über der Herzspitze, parasternal links im 2. ICR und eine indifferente Elektrode auf der rechten Schulter befestigt. Dann wartete der Ruderer in Ruhestellung bis er seine vor dem ersten Versuch bestimmte Ruhefrequenz erreicht hatte. Mit Hilfe eines für den Ruderer sichtbar aufgestellten Metronoms wurde die für diesen Versuch vorgesehene Schlagzahl vorgegeben. Die Pendelfrequenzen des benutzten Metronoms wurden einzeln vor Beginn der Versuchsreihe mit der Stoppuhr überprüft. Vor jedem Versuch wurde die doppelte Schlagzahl eingestellt. Die Versuchsperson konnte sich so einige Zeit optisch und akustisch mit dem gewünschten Rhythmus vertraut machen. Nach Einstellen des gewünschten Bremswiderstandes konnte der Versuch gestartet und mit einer Stoppuhr überwacht werden.

In Abständen von einer Viertelminute wurde die geleistete Arbeit auf der Ws-Skala kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert. Während des Versuches und bis 6 Minuten danach lief kontinuierlich ein EKG zur Bestimmung der Leistungspulssumme (LPS) und der Erholungspulssumme (EPS) mit. Nach der Belastung nahm die Versuchsperson auf einem neben dem Ergometer stehenden Liegesessel zur Bestimmung der EPS Platz. Die registrierten EKG-Streifen wurden ausschließlich zur Bestimmung der Herzfrequenz bzw. der LPS und der EPS anhand der am deutlichsten sichtbaren Ausschläge benutzt.

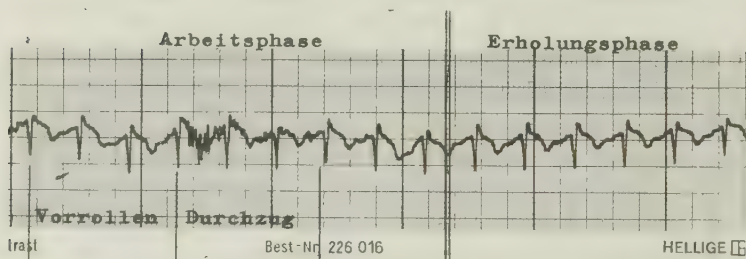


Abbildung 3. Beispiel eines zur Registrierung der Leistungs- und Erholungspulssumme benutzten EKG-Streifens.

3.3. Kritik der Methodik

Die Zahl von 20 Versuchspersonen ist relativ klein. Dazu traten in der Versuchsreihe noch bei drei Ruderern konditionelle Veränderungen in einem so großen Maße auf, daß diese Versuchspersonen bei der Auswertung der Ergebnisse nicht berücksichtigt werden konnten. (s. Tabelle 1). Die Unterschiede der LPS des Vor- und Nachtestes derjenigen Ruderer, die in der Auswertung berücksichtigt wurden, betrugen weniger als 1,5 %.

Die Ruderer waren weiterhin in Größe, Alter,

Gewicht und in der Länge der Trainingszeit unterschiedlich. Andererseits waren sie technisch gut ausgebildet (darunter Deutsche Meister, Vizeeuropameister und Weltmeister) und bereit, neben dem normalen Wintertraining die zusätzliche zeitliche und körperliche Belastung durch die Versuchsreihe auf sich zu nehmen. Wegen des neben der Versuchsreihe weiterlaufenden Wintertrainings hatten die Ruderer auch am Tag vor dem Ergometerversuch ein Trainingsprogramm zu absolvieren. Damit entsprachen die Versuche nicht ganz den Vorschlägen zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung (MELLEROWICZ et al. 14,15). Da sich diese Voraussetzungen während der gesamten Versuchsreihe nicht änderten, wurde ein methodischer Fehler vermieden.

Nach JUNGMAHN und KNOOP (10) ist der Gewöhnungseffekt an Ergometeruntersuchungen nur zwischen erster und zweiter Übung erkennbar und durch entsprechende Vorversuche vermeidbar. Diese Gelegenheit wurde den Versuchspersonen in ausreichendem Maße gegeben.

3.4. Statistische Methodik

Zur statistischen Auswertung der Ergebnisse, also zum Nachweis der statistischen Signifikanz, wurde ein verteilungsfreier Test gewählt: der Zeichentest. Mit seiner Hilfe wurden die Paardifferenzen geprüft.

Dieser Test beruht auf folgender Überlegung. Gibt es keinen Unterschied zwischen den einzelnen Schlagzahlen, so gibt es auch keinen Unterschied zwischen den zugehörigen Paardifferenzen der Leistungspulssummen; d.h. innerhalb der beiden zu vergleichenden Schlagzahlen müssen etwa gleichviele Paardifferenzen größer oder kleiner als Null sein. (Nullhypothese).

Legt man eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $2\alpha \leq 0,05$ zugrunde, so liegen die Grenzen bei 13 zu 4 bzw. 13 zu 3 (je nach Anzahl der zu berücksichtigenden Wertepaare. Siehe Geigy-Tabellen). Wenn diese Grenzen erreicht oder nach außen überschritten werden, kann die Nullhypothese zugunsten der folgenden Aussage abgelehnt werden: Zwischen den LPS (oder EPS) bei den verschiedenen Schlagzahlen besteht ein signifikanter Unterschied.

4. Untersuchungsergebnisse

Als Ergebnisse der Versuche wurden die Werte derjenigen Versuchspersonen benutzt, deren LPS im Vor- und Nachtest auf dem Fahrradergometer annähernd gleich waren, bei denen also keine Konditionsveränderungen während der Versuchsserie aufgetreten waren. (siehe dazu Tabelle 1). In Tabelle 2 sind die Werte für die mittlere maximale Herzschlagfrequenz der jeweils drei letzten Arbeitsminuten zusammengestellt. Diese Werte entsprechen annähernd dem dreifachen Ruhepuls und sind ein relatives Maß für die Belastung durch die Versuche.

Die Tabellen 3 und 4 zeigen die Leistungspulssummen (LPS) und die Erholungspulssummen (EPS) der 17 für die Auswertung benutzten Versuchspersonen bei den verschiedenen Schlagzahlen.

Versuchspers.

Schlagzahlen

	28	30	32	34	36	38	40
1	163	179	174	173	174	179	178
2	170	167	164	170	171	174	174
3	168	171	177	173	174	179	176
4	171	177	178	173	179	181	185
5	174	179	173	176	176	174	178
6	169	169	174	173	174	170	178
7	167	163	169	167	173	164	173
8	183	181	174	177	174	174	176
9	181	182	185	183	183	187	187
10	174	171	171	169	167	179	176
11	175	176	181	179	181	176	181
12	163	166	158	164	168	168	174
13	163	166	169	166	166	165	163
14	186	182	182	181	182	179	187
15	173	176	179	179	174	181	176
16	160	156	150	150	158	160	164
17	180	178	175	175	173	174	174

Tabelle 2

Mittlere maximale Herzschlagfrequenz der letzten drei Arbeitsminuten der Versuchspersonen ($n=17$) bei den verschiedenen Schlagzahlen.
(250 W über 6 Minuten auf dem Ruderergometer)

Versuchspers.

Schlagzahlen

	28	30	32	34	36	38	40
1	945	1005	1002	1011	1014	1020	1018
2	1000	968	959	975	1000	1001	1030
3	965	991	1024	996	999	1019	1010
4	984	1010	1027	1005	1047	1100	1085
5	1001	1040	990	1025	1016	1002	1016
6	987	991	1002	1004	1000	990	1018
7	972	928	976	978	1015	971	1029
8	1074	1077	995	1032	1000	999	1016
9	1041	1043	1074	1050	1073	1082	1084
10	999	984	988	966	1015	998	1077
11	1030	1021	1049	1048	1039	1031	1068
12	923	922	907	927	952	968	1005
13	920	938	956	945	973	968	969
14	1100	1064	1057	1035	1043	1057	1077
15	1010	1050	1057	1058	1043	1077	1053
16	933	915	876	891	915	933	954
17	1056	1039	1013	1019	1013	1002	1014

Tabelle 3.

Leistungspulssummen der Versuchspersonen ($n=17$) bei den verschiedenen Schlagzahlen.
(250 W über 6 Minuten auf dem Ruderergometer).

Versuchspers.	Schlagzahlen							
	28	30	32	34	36	38	40	
1	627	707	704	708	734	720	721	
2	638	636	585	613	626	623	631	
3	638	682	681	679	682	705	705	
4	643	702	718	669	731	757	766	
5	666	728	703	710	704	692	684	
6	653	615	646	683	659	676	685	
7	677	631	692	684	701	643	718	
8	813	813	723	781	744	754	752	
9	707	711	729	697	738	765	794	
10	699	701	720	711	762	743	771	
11	749	726	774	725	719	742	784	
12	629	610	599	625	681	657	713	
13	677	672	706	686	720	721	698	
14	784	758	768	754	762	746	775	
15	646	682	733	693	681	703	703	
16	542	491	395	413	408	500	479	
17	741	719	713	721	701	710	713	

Tabelle 4.
Erholungspulssummen der Versuchspersonen (n=17) bei den verschiedenen Schlagzahlen.
(250 W über 6 Minuten auf dem Ruderergometer).

Betrachtet man nun die in Tabelle 5 für die LPS zusammengestellten Ergebnisse, so erkennt man, daß die LPS bei der Schlagzahl 40 sich signifikant von der LPS bei allen übrigen im Versuch erzwungenen Schlagzahlen unterscheidet mit Ausnahme der Schlagzahl 38. Alle übrigen Schlagzahlen (28 bis 38) unterscheiden sich hinsichtlich der LPS untereinander nicht signifikant.

Schlagzahl	28	30	32	34	36	38
40	14+ 3-	14+ 3-	15+ 2-	13+ 4-	15+ 1-	12+ 5-
38	11+ 5-	12+ 5-	11+ 5-	11+ 6-	9+ 8-	
36	12+ 4-	11+ 5-	10+ 6-	11+ 6-		
34	11+ 6-	10+ 7-	10+ 7-			
32	9+ 8-	9+ 8-				
30	9+ 8-					

Tabelle 5. Die Summen der Paardifferenzen der zu vergleichenden Schlagzahlen für die Leistungspulssummen (LPS).

Beispiel: 14+ 3- heißt, daß beim Vergleich der LPS bei 40 und 28 Schlägen 14 mal die LPS bei 40 Schlägen größer und 3 mal kleiner als die LPS bei 28 Schlägen war.

Signifikanz-Niveau der Unterschiede der LPS (1t. Zeichentest) $2\alpha \leq 0,05$ bei 13+ 4- für $n=17$.

(entnommen: Wissenschaftliche Tabellen Geigy 7. Aufl.)

Für die EPS kann man eine analoge Tabelle aufstellen (Tabelle 6) und danach die Signifikanz der Ergebnisse untersuchen. Es ergibt sich, daß signifikante Unterschiede nur zwischen der EPS bei 40 Schlägen einerseits und den EPS bei 32, 34 und 36 Schlägen andererseits bestehen. Alle übrigen Unterschiede konnten statistisch nicht gesichert werden.

Schlagzahl	28	30	32	34	36	38
40	12+ 5-	12+ 5-	13+ 3-	14+ 3-	14+ 3-	11+ 4-
38	9+ 8-	12+ 5-	12+ 5-	11+ 6-	10+ 7-	
36	11+ 6-	9+ 7-	13+ 4-	10+ 7-		
34	9+ 8-	9+ 8-	8+ 9-			
32	10+ 7-	9+ 8-				
30	7+ 9-					

Tabelle 6. Die Summen der Paardifferenzen der zu vergleichenden Schlagzahlen für die Erholungspulssummen (EPS). Signifikanzniveau der Unterschiede der EPS (vgl.Tab.

Die Mittelwerte der LPS aus Tabelle 3 und die Mittelwerte der EPS aus Tabelle 4 der verschiedenen Schlagzahlen wurden in die Darstellungen 1 bzw. 2 eingezeichnet. Versuchsweise wurden durch diese Punkte je eine Parabel 2. Ordnung gelegt. Sie wurde mit Hilfe des Tischcomputers Wang 700 als Regressionskurve errechnet und in die Darstellungen 1 und 2 eingetragen. Die Approximation der Mittelwerte bei den einzelnen Schlagzahlen durch diese Parabeln kann als ausreichend betrachtet werden.

Die Berechnung der Regressionskurve der LPS mit Hilfe des Tischcomputers Wang 700 ergab:

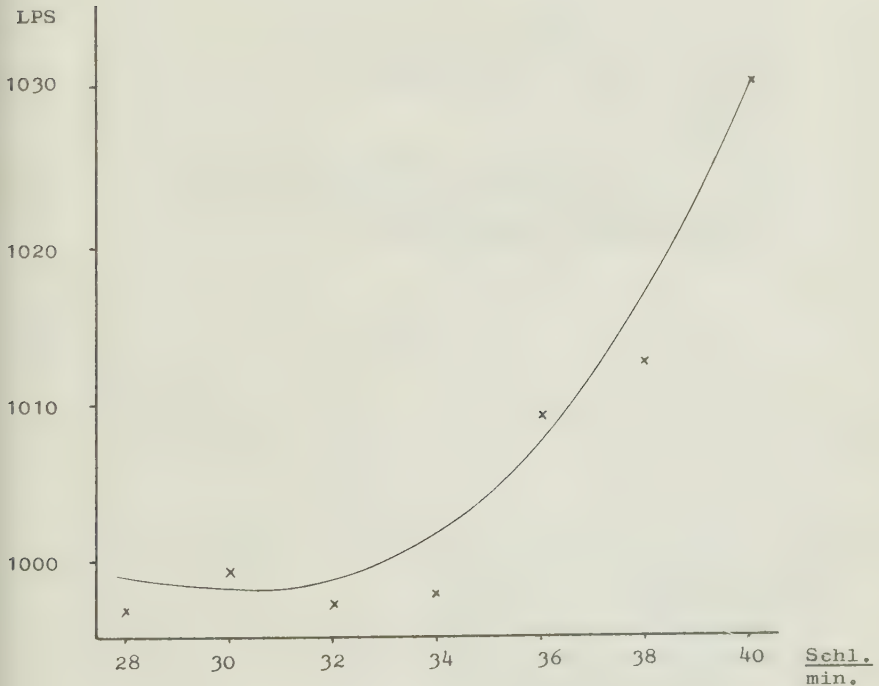
$$y = 0,3725 x^2 - 22,7997 x + 1344,764$$

$$\text{danach ist } y' = 0,7450 x - 22,7997$$

setzt man $y' = 0$, so erhält man

$$x = \frac{22,7997}{0,745} = 30,6$$

Da $y'' = 0,745$ und damit größer als 0 ist, stellt der Wert 30,6 für die obere Kurve ein Minimum dar. (s. Darstellung 1)



Darstellung 1 Mittlere Leistungspulssummen der verschiedenen Schlagzahlen und parabolische Regressionskurve bei konstanter Leistung von 250 Watt über 6 Minuten auf dem Ruderergometer.

Die Darstellung 2 zeigt die analoge Kurve für die Erholungspulssummen. Beide Kurven zeigen einen ähnlichen Verlauf, unterscheiden sich aber gering in der Steilheit und in der Lage des Minimum. Dieses liegt für die Regressionskurve der EPS bei 29,8 also etwas unterhalb von 30 Schlägen pro Minute.

Die Berechnung der Regressionskurve der EPS mit Hilfe des Tischkomputers Wang 700 ergab:

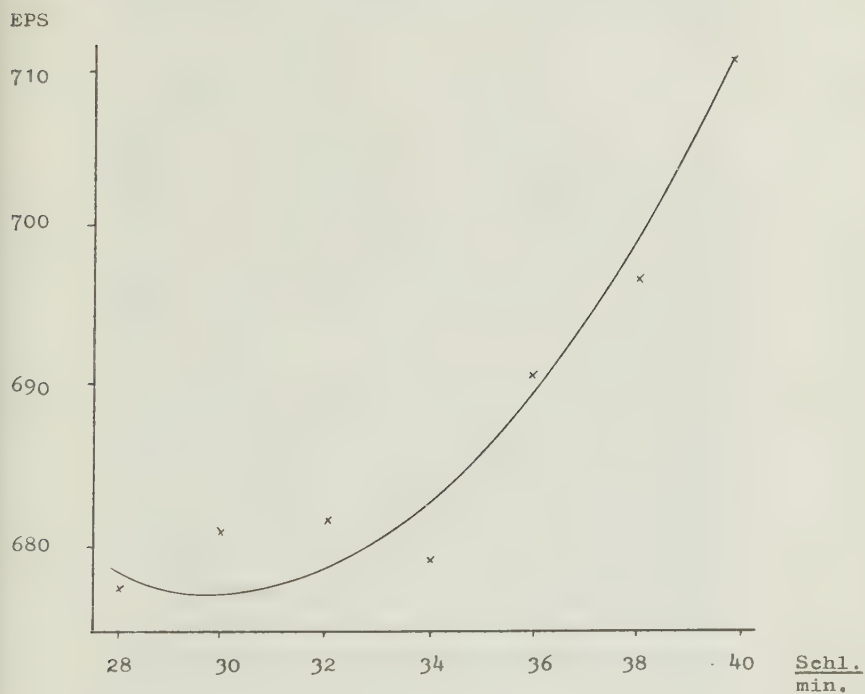
$$y = 0,2990 x^2 - 17,814x + 944,2629$$

danach ist $y' = 0,5980x - 17,81$

setzt man $y' = 0$, so erhält man

$$x = \frac{17,81}{0,598} = 29,8$$

Da $y'' = 0,598$ und damit größer als 0 ist, stellt der Wert 29,8 für die Funktion der EPS ein Minimum dar. (s. Darstellung 2).



Darstellung 2 Mittlere Erholungspulssumme der
verschiedenen Schlagzahlen und
parabolische Regressionskurve
bei konstanter Leistung von
250 Watt über 6 Minuten auf
dem Ruderergometer.

5. Diskussion

Die Pulssummen sind nach J. RUTENFRANZ (21) mit der körperlichen Leistungsfähigkeit eng korreliert. L. BASSAN (1) spricht bei hochtrainierten Sportlern von einer "dynamischen Stereotypie", die es ermöglicht, mit einer Komponente - z.B. der Herzfrequenz - eine repräsentative Aussage über das physiologische Geschehen unter bestimmten Bedingungen zu gewinnen. E.A. MÜLLER (17,18,19) hat ebenfalls die Pulszahl als Maß für O_2 -Austausch und Ermüdbarkeit des arbeitenden Muskels angesehen. In vielen telemetrischen Untersuchungen der letzten Zeit wird die Herzfrequenz bzw. die Pulssumme als die am einfachsten zu gewinnende physiologische Meßgröße zur Beurteilung der biologischen Leistung benutzt. In den Jahren 1959 bis 1961 wurden in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffsbau Berlin im Auftrage des Deutschen Ruder-Verbandes Schleppversuche mit verschiedenen Achtermannschaften durchgeführt. Es wurden sowohl die Widerstände verschiedener Boote als auch die Dynamik und Kinetik verschiedener Mannschaften untersucht (4). Diese Versuche ergaben unter anderem: Soll eine Achtermannschaft die 2000 m Strecke in 6 Minuten bei idealen Verhältnissen wie glattem Wasser, Windstille und ohne Strömung durchrudern, so muß der einzelne Ruderer annähernd 400 Watt während dieser Zeit leisten. Solche Maximalleistungen sind nur auf dem Höhepunkt einer Trainingssaison zu erreichen (16). In der Versuchsreihe wurden unter Berücksichtigung des vorbereitenden, annähernd gleichbleibenden Wintertrainings Leistungen von 250 Watt über 6 Minuten gefordert. Wie sich in Vorversu-

chen herausstellte, gingen diese Belastungen bis an die Grenze der zu dieser Zeit möglichen Leistungsfähigkeit. Bei den geforderten hohen Schlagzahlen in der Versuchsreihe war in einigen Fällen das Erreichen der geforderten Leistung nur durch Unterstützung der Ruderer mit Anfeuerungsrufen möglich.

Um eine Veränderung der Kondition durch die Versuchsreihe nach Möglichkeit zu vermeiden, wurde nur ein Versuch pro Woche durchgeführt.

Der Vor- und Nachtest auf dem Fahrradergometer sollte zeigen, ob während der Versuchsreihe konditionelle Veränderungen bei den einzelnen Versuchspersonen aufgetreten waren. Das war bei drei Probanden der Fall. Bei diesen Testen wurde wie bei der gesamten Versuchsreihe nur die Leistungspulssumme bzw. die Erholungspulssumme als Parameter der biologischen Leistung benutzt. Der Bremswiderstand und die Tretgeschwindigkeit wurden vorgegeben. Nach ECKERMANN, SCHMIDT, ULMER und anderen (6,22,25) ist es unzweckmäßig, die Wahl der Tretfrequenz den Versuchspersonen zu überlassen. In diesem Falle würden zu hohe Frequenzen bei geringerer Kraft bevorzugt, die zu Fehlschlüssen bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit führen könnten.

Durch die Teilung der Versuchspersonen in zwei Gruppen, die die Versuche in unterschiedlicher Reihenfolge durchführten, wurde ein weiterer methodischer Fehler ausgeglichen.

A. HASSE (7), der als Erster an einem dem Ruderergometer ähnlichen Gerät Untersuchungen vornahm, wies auf die Abhängigkeit der körperlichen Leistungsfähigkeit von den effektiven Temperaturen hin. WEZLER, THAUER und GREVEN (27) stellten erhebliche Einwirkungen der Umwelttemperatur auf Herzfrequenz, Schlagvolumen, Minutenvolumen, Blutdruckamplitude und av-Differenz

bei jungen gesunden Versuchspersonen fest. HERXHEIMER (8) und auch E.A. MÜLLER (17,18) fanden ebenfalls erhebliche Herzfrequenzsteigerungen bei zusätzlicher Wärmebelastung. Diese Störfaktoren konnten durch die fast konstant bleibende Temperatur des zentralbeheizten Raumes, in dem die Versuche stattfanden, ebenfalls vermieden werden. In Vorversuchen wurde zunächst untersucht, ob die Pulsfrequenzzählung mit Hilfe eines photoelektrisch arbeitenden Gerätes nach der Methode von MÜLLER-HIMMELMANN möglich sei. Dabei konnten die Untersuchungen von BROICHER und DUPUIS (5) bestätigt werden. Bis zu einer geforderten Leistung von 100 Watt konnte kontinuierlich die Herzfrequenz registriert werden. Bei größeren Leistungen war durch die Preßdrucke während des Durchzuges keine Registrierung möglich. Ließ der Preßdruck beim Vorrollen wieder nach, setzte auch die störfreie Registrierung der Herzfrequenz wieder ein. Bei der kontinuierlichen Registrierung der Herzfrequenz mit Hilfe eines EKG traten dagegen keine Störungen auf. Die gewünschte Schlagzahl wurde mit dem Metronom verdoppelt vorgegeben, so daß die Hubarbeit des Ruderers mit den Bewegungen des Pendels synchron ablief. So gelang es den erfahrenen Kennruderern nach dem Start des Versuches innerhalb von 3-4 Schlägen den gewünschten Rhythmus zu erreichen und die geforderte Schlagzahl bis zum Ende des Versuches einzuhalten.

Die Veröffentlichungen L. BASSANS (2,3) über seine telemetrischen Untersuchungen bei Ruderern im Boot unter Trainings- und Wettkampfbedingungen zeigen Vergleiche von Herzfrequenz und Bootsgeschwindigkeit bzw. geruderter Zeit über 2000 Meter. BASSAN vergleicht unter anderem darin Ruderer aus verschiedenen Bootsgattungen und aus verschiedenen Rennen. Über die geruderte

Schlagzahl wird dabei keine Angabe gemacht. Vergleichs ohne objektive Leistungsmessung kann man aber nur in gleichen Bootsgattungen und in gleichen Rennen anstellen. In weiteren telemetrischen Untersuchungen bei Ruderern unter Trainingsbedingungen vermutet BASSAN ebenfalls einen Zusammenhang zwischen Belastung und gerundeter Schlagzahl.

Leider existieren noch keine objektiven physikalischen Leistungsmessungen aus dem Ruderboot. Durch die Untersuchungen auf dem Ruderergometer konnte zwischen 40 Schlägen und 36 Schlägen/min sowie den niedrigen Schlagzahlen ein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Das gilt gleichermaßen für die LPS und die EPS. Im Bereich zwischen 36 und 28 Schlägen/min waren für beide Kriterien die Unterschiede so gering, daß sie innerhalb der geforderten Vertrauensgrenzen lagen und damit nicht statistisch gesichert werden konnten. Ein Grund dafür könnte die relativ kleine Zahl der Versuche sein. Andererseits war es wegen der konditionellen und technischen Voraussetzungen, die an die Versuchspersonen gestellt wurden, nicht möglich, ihre Zahl wesentlich zu vergrößern.

Die vom Computer nach Eingabe der 119 gewonnenen Einzelwerte errechneten Minima lagen für die LPS bei 30,6 und für die EPS bei 29,8 Schlägen/min und entsprechen damit den praktischen Erfahrungen im Rennrudern (Skullen, Einer). In den erstklassigen internationalen Rennen (Olympische Spiele, Welt- und Europameisterschaften) ruderten die späteren Sieger im "Einer" abgesehen von den Start- oder kurzen Spurtschlägen nie über 31 Schläge/min. Ruderten diese Sieger dagegen deutlich unter 30 Schlägen pro Minute, so war ihr Vorsprung bereits so groß, daß sie nicht "das Letzte" geben mußten.

In Untersuchungen mit dem Kurbelergometer zeigte sich, daß für höhere Belastungen (250 W) die optimale Umdrehungszahl in den höheren Bereichen über 40 U/min lag (11). Stehen diese Untersuchungsergebnisse dazu im Widerspruch?

Der Bewegungsablauf am Kurbelergometer bei höheren Leistungen zeigt drei verschiedene Phasen, die alle Arbeitsphasen sind. In ihnen wird die Kurbel mehr oder weniger beschleunigt. In Abhängigkeit von der Kraft der momentan kontrahierten Muskelgruppe und von der Gelenkstellung (verschiedene Länge eines Muskels) wirken auf die Kurbel während einer Umdrehung verschieden große Momentankräfte ein. Bei günstiger Momentankraft nimmt die Schwungmasse Energie auf, um sie bei ungünstiger Momentankraft abgeben zu können. Daraus resultiert eine kontinuierliche und fließende Bewegung. Bei Ergometertypen, die aus meßtechnischen Gründen (herzfrequenzgesteuerte Geräte) über keine Schwungmasse verfügen wirkt der Bewegungsablauf ungleichmäßig und wird auch von den Probanden so empfunden.

Beim Ruderergometer steht eine Arbeitsphase, der Durchzug, einer Leerphase, dem Vorrollen, gegenüber. Physikalisch gemessene Arbeit wird nur in einer Phase, dem Durchzug, geleistet. Es steht dem Probanden auf dem Ruderergometer also erheblich weniger Arbeitszeit zur Verfügung als am Kurbelergometer. Das heißt, daß die biologische Leistung zur Vollbringung einer bestimmten physikalischen Leistung auf dem Ruderergometer erheblich größer ist als am Kurbelergometer, da die Schwungmasse während der Leerphase konstant rotieren muß bis zu Beginn der folgenden Arbeitsphase erneut Kräfte auf sie einwirken (20,24). Aus diesem Grund besteht ein erheblicher Unterschied zwischen Kurbel- und Ruderergometer, so daß die Verwendung eines sportartspezifischen Ergometers für die Beurteilung der Leistungs-

fähigkeit zu einer größeren Aussagekraft führt. Für den praktisch tätigen Rudertrainer stellt dieses Ruderergometer vorerst eine Hilfe zur objektiveren Beurteilung der Ruderer dar. Er kann mit diesem Gerät den Trainingszustand seiner Ruderer beurteilen, ohne vom Wetter abhängige Testrennen in kleinen Bootsgattungen durchführen zu müssen. Wird die Einrichtung des Riemruderns benutzt, ergibt sich eine weitere Anwendungsmöglichkeit für das Ruderergometer. Der Trainer hat die Möglichkeit durch Feststellen der individuellen optimalen Schlagzahlen der verschiedenen Ruderer eine Mannschaft zusammenzustellen, deren optimale Schlagzahl möglichst übereinstimmt.

Die sportärztliche Untersuchung von Ruderern kann durch die Benutzung des Ruderergometers erweitert werden. Sieht man die vom DSB vorgeschlagene ergometrische Untersuchung auf dem Fahrradergometer als Basisuntersuchung zur Feststellung der Sportfähigkeit und zur Gewinnung von cardio-pulmonalen *vita maxima* Werten an, so ist es möglich, mit der sportartspezifischen ergometrischen Untersuchung der Ruderer weitere Aussagen über das Leistungsvermögen im maximalen steady-state zu machen. Als zukünftige Ergänzung dieses "Baukastensystems" zur Untersuchung von Ruderern wäre der vom Deutschen Ruder-Verband in Erprobung befindliche "Meßvierer" anzusehen.

6. Zusammenfassung

In einer Versuchsreihe wurden 20 trainierte Rennruderer auf einem Ruderergometer bei verschiedenen Schlagzahlen einer gleichen physikalischen Belastung unterzogen. Sie hatten eine Leistung von 250 Watt während 6 Minuten zu erbringen. Während der Arbeitsphase und während einer gleich langen Erholungsphase wurden mit Hilfe eines kontinuierlich geschriebenen EKG die Leistungspulssumme und die Erholungspulssumme bei den verschiedenen Schlagzahlen bestimmt. Die 7 Einzelversuche, die jeder Ruderer zu absolvieren hatte, wurden einmal wöchentlich mit einer Schlagzahl nämlich 28, 30, 32, 34, 36, 38 und 40 Schlägen pro Minute durchgeführt.

Zur Beurteilung des Konditionsstandes wurden je ein Vor- und Nachtest auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Zur Auswertung wurden nur die Ergebnisse von Versuchspersonen herangezogen, deren Leistungspulssumme im Vor- und Nachtest annähernd gleich waren; d.h. deren Kondition sich während der Versuchsreihe nicht wesentlich verändert hatte. Das war bei 17 Probanden der Fall.

Die Ergebnisse wurden in Tabellen und Darstellungen zusammengefaßt. Es wurde errechnet, daß die Leistungspulssummen bei gleicher physikalischer Leistung von 250 Watt über 6 Minuten bei unseren Probanden im Mittel bei 30,6 Schlägen ihr Minimum haben. Die optimale Schlagzahl bei dieser Belastung beträgt wahrscheinlich um 31 Schläge pro Minute.

Mit wachsendem Abstand der Schlagzahlen werden die Unterschiede der Leistungspulssummen immer deutlicher. Die Leistungspulssumme bei 40 Schlä-

gen ist signifikant höher als die Leistungspulssumme bei den übrigen erzwungenen Schlagzahlen mit Ausnahme der Leistungspulssumme bei 38 Schlägen.

Die Regressionskurve der Erholungspulssummen zeigt die gleiche Tendenz; ihr Minimum erreicht sie jedoch bereits bei 29,8 Schlägen pro Minute, also praktisch bei der gleichen Schlagzahl wie bei der Betrachtung der LPS.

Die vom Computer errechneten Werte entsprechen den praktischen Erfahrungen im Rennrudersport. In den Rennen im Skiff (Einer) werden selten mehr als 31 Schläge pro Minute gerudert.

7. Literaturverzeichnis

1. Bassan, L.:

Über die Aussagekraft der Herzschlagfrequenz als physiologische Meßgröße in der Leistungsphysiologie.

Radio-telemetrische Untersuchungen.

Int. Arch. Gewerbepath. u. Gewerbehygiene

1966 22, 262

2. Bassan, L.:

Radio-telemetrische Untersuchungen der Herzfrequenz beim Rudern unter Wettkampfbedingungen.

Theorie und Praxis d. Körperkultur

1967 3, 251

3. Bassan, L.:

Radio-telemetrische Untersuchungen der Herzfrequenz beim Rudern unter Trainingsbelastungen.

Theorie und Praxis d. Körperkultur

1967 4, 343

4. Boes, Ch:

Beitrag zur Mechanik des Ruderns. Teil I
Versuchsanstalt für Wasserbau u. Schiffsbau Berlin.

Bericht Nr. 195/61 Abb. 100

1961

5. Broicher, H.A. und Dupuis, H.:

Entwicklung und zweijähriger Einsatz eines Pulszählers.

Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol.

1961 19, 80

6. Eckermann, P. u. Millahn, H.P.:
Der Einfluß der Drehzahl auf die Herzfrequenz und die Sauerstoffaufnahme bei konstanter Leistung am Fahrradergometer.
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiologie.
1967 23, 340
7. Hasse, A.:
Leistung und klimatische Bedingungen im Bergbau.
Arbeitsphysiologie.
1935 8, 455
8. Herxheimer, H.:
Grundriß der Sportmedizin.
Arbeitsphysiologie.
1933 7, 181
9. Hollmann, W., Schmücker, B., Heck, H., Stolte, A., Liesen, H., Fotescu, M.D., Mathur, D.N.,
unter Mitarbeit von E. Elsberger.:
Über das Verhalten spiroergometrischer Meßgrößen bei Radrennfahrern auf dem Laufband- und auf dem Fahrradergometer.
Sportarzt und Sportmedizin.
1971 7, 153
10. Jungmann, H. u. Knoop, G.:
Über die Gewöhnung an Ergometer-Untersuchungen.
Sportarzt und Sportmedizin.
1966 6, 287
11. Mellerowicz, H.:
Grundlagen der Ergometrie.
Rotaprint-Druck Berlin.
1960

12. Mellerowicz, H.:
Ergometrie.
Urban u. Schwarzenberg München-Berlin
1962 27-36
13. Mellerowicz, H. u. Schneider, T.:
Ein Ruderergometer zur Leistungsmessung,
Konditionsbestimmung und physiologischen
Forschung.
Der Sportarzt.
1961 5, 132
14. Mellerowicz, H., Reindell, H., Hollmann, W.,
Mies, H. u. Roskamm, H.:
Vorschläge zur Standardisierung der ergome-
trischen Leistungsmessung.
Zschr. Kreisl.forsch. Darmstadt
1961 50, 273
15. Mellerowicz, H., Roskamm, H., Hettinger, Th.,
Hollmann, W., Klaus, E.J., König, K., Mies, H.,
Reindell, H. u. Stoboy, H.:
Vorschläge zur Standardisierung der ergome-
trischen Leistungsmessung.
2. Mitteilung.
Zschr. Kreisl.forsch. Darmstadt
1964 53, 856
16. Mellerowicz, H. u. Hansen, G.:
Sauerstoffkapazität und andere spiroergome-
trische Maximalwerte der Ruderolympiasieger
im Vierer mit Steuermann vom Berliner Ruder-
Club.
Sportarzt und Sportmedizin.
1965 16, 188
17. Müller, E.A.:
Die Pulszahl als Kennzeichen für Sauerstoff-
austausch und Ermüdbarkeit des arbeitenden
Muskels. Arbeitsphysiologie 1942 12, 92

18. Müller, E.A.:

Ein Leistungspulsindex als Maß der Leistungsfähigkeit.

Arbeitsphysiologie.

1950 14, 271

19. Müller, E.A.:

Physiologie der körperlichen Leistungsfähigkeit.

in: Landois-Rosemann

Lehrbuch der Physiologie des Menschen

28. Auflg. Bd. II, 498

Urban u. Schwarzenberg. München-Berlin

1962

20. Nowacki, P.E.:

Der Wirkungsgrad bei ergometrischer Leistung.

in: Kongreßbericht des II. Intern. Seminar
für Ergometrie.

Hrsg. v. H. Mellerowicz u. G. Hansen

Berlin Ergon Verlag

1967 241

21. Rutenfranz, J., Hocke, R., Hocke, Ch. u. Hofmann-Keilhacker, E.:

Über den Aussagewert einiger ergometrischer
Verfahren zur Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen.
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiologie.

1964 20, 294

22. Schmidt, F.L.:

Über den Einfluß der Umdrehungszahl auf verschiedene Parameter des cardio-pulmonalen Systems während Tretkurbelarbeit bei submaximaler Belastung.

in: Kongreßbericht des II. Intern. Seminar
für Ergometrie

Hrsg. v. H.Mellerowicz u. G.Hansen
Berlin Ergon Verlag
1967 107

23. Schmidt, F.L.:

Über die Auswahl und Lage der Elektroden beim
Anwenden bipolarer elektrokardiographischer
Brustwandableitungen.

Sportarzt und Sportmedizin.

1970 10, 243

24. Stoboy, H.:

Physikalische und biologische Grundlagen der
Ergometrie.

in: Kongreßbericht des II.Intern. Seminar für
Ergometrie.

Hrsg. v. H.Mellerowicz u. G.Hansen

Berlin Ergon Verlag

1965 97

25. Ulmer, H.-V.:

Die Abhängigkeit des Leistungsempfindens von
der Tretfrequenz bei Radsportlern.

Sportarzt und Sportmedizin.

1969 10, 385

26. Weidemann, H., Goernandt, I., Roskamm, H., Samek,
I., Reindell, H.:

Herzfrequenzmessungen mit EKG-Speichergeräten
beim Weltmeisterschaftstraining von Hochlei-
stungsrunderern.

Medizin und Sport.

1968 3, 85

27. Wezler, K.R., Thauer, K. u. Greven, K.:

Kreislaufgrößen und Sauerstoffverbrauch einer
gesunden Versuchsperson als Funktion der Außen-
temperatur von +6°C bis +50°C

(relative Feuchtigkeit 50%)

Zschr.exper. Medizin 1940 107, 751

Lebenslauf

Am 16. März 1937 wurde ich als Sohn des Bäckermeisters Otto Raatz und seiner Ehefrau Dora Raatz, geborene Petrasch, in Berlin geboren. Mit sechs Jahren eingeschult, besuchte ich die Grundschule und anschließend die Oberschule des Wissenschaftlichen Zweiges. Im März 1958 bestand ich an der Rückert-Schule in Berlin-Schöneberg die Reifeprüfung. Nachdem ich an der Technischen Universität Berlin fünf Semester Physik studiert hatte, wechselte ich zur Freien Universität Berlin und begann mit dem Medizinstudium. Dort legte ich nach 12 Semestern am 29. Mai 1967 die ärztliche Prüfung ab. Nach zweijähriger Tätigkeit als Medizinalassistent erhielt ich am 31. Mai 1969 die Bestallung als Arzt und begann eine gynäkologisch-geburtshilfliche Ausbildung an der Städtischen Frauenklinik Berlin-Neukölln. Seit dem 9. Januar 1974 bin ich als Facharzt für Frauenkrankheiten und Geburtshilfe in diesem Hause tätig.

